

Aus der Orthop. Klinik und der Orthop. Poliklinik der Universität München

Direktor: Professor Dr. M. Lange

Experimentelle Versuche
über die Reißfestigkeit der menschlichen
Achillessehne am Knochen-Sehnen-Muskelpräparat

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Eckart Wille

aus Bargteheide/Holstein

München 1965



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555228_0074

Experimentelle Versuche
über die Reißfestigkeit der menschlichen
Achillessehne am Knochen-Sehnen-Muskelpräparat

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Eckart Wille
aus Bargteheide/Holstein

München 1965



Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Privatdozent Dr. E. Hipp

Mitberichterstatter: Professor Dr. M. Lange

Dekan: Professor Dr. R. Zenker

Tag der mündlichen Prüfung: 19. Oktober 1965

A. Fragestellung:

In den letzten Jahren sind zahlreiche Berichte über Achillessehnenrupturen veröffentlicht worden, aber immer noch herrscht Unklarheit darüber, ob gesunde Sehnen überhaupt reißen können, oder ob degenerative Veränderungen stets als Voraussetzung für Achillessehnenrupturen angesprochen werden müssen.

1575 berichtet AMBROISE PARL als erster über diese Verletzung. 1929 konnten QUENU und STOIANOVITCH nur 66 Fälle von Achillessehnenrupturen über die bis zu diesem Zeitpunkt in der Weltliteratur berichtet worden war, nennen.

Die Achillessehnenrupturen haben in den letzten Jahren durch die vermehrte sportliche Betätigung beträchtlich zugenommen. So werden nach einer Zusammenstellung von VIERNSTEIN und GALLI (1963) von 8 Autoren (überwiegend aus alpinen und nordischen Ländern) 644 Fälle beschrieben.

Sämtliche Autoren stellen fest, daß es sich bei der Achillessehnenruptur überwiegend um Sportverletzungen bei Hochleistungssportlern handelt (Ski, Sprinten, Tennis, Fußball), daß sie aber auch bei Untrainierten und bei Personen, deren Achillessehnen einer starken Überbeanspruchung ausgesetzt sind, auftreten. Das Durchschnittsalter der Verletzten liegt laut jüngstem Bericht (VIERNSTEIN) bei 41,4 Jahren. Ähnliche Zahlen sind auch bei anderen Veröffentlichungen zu entnehmen.

Bei allen beschriebenen Fällen wird ein deutliches Überwiegen der Männer herausgestellt; FRINGS nennt einen prozentualen Anteil der Männer von 83,15 %, SCHÖNBAUER einen von 85 %. Dabei überwiegt der Riß der linken Achillessehne, und zwar im Verhältnis 3 : 2.

Degenerative Veränderungen der Achillessehne werden hauptsächlich als Ursache der subcutanen Achillessehnenruptur angesprochen. So wird in der Literatur vertreten, daß Gonorrhoe, Lues (BENYI), Tuberkulose, Diabetes zu degenerativen Veränderungen an der Achillessehne führen können, CHIGOT u.a. fanden am Probeexcisionsmaterial Granulationsgewebe und Pseudocysten. STUCKE's Versuche an Leichen ergaben, daß die menschliche Achillessehne bis zu 400 kg belastet werden kann, bevor es zum Riß kommt. Da die maximale Leistung des Wadenmuskels (Zugspannung) 270 kg beträgt (FICK), halten es die meisten Autoren (STUCKE, FINK, WYSS u.a.) für unwahrscheinlich, daß die mechanischen Kräfte, die auf eine gesunde Sehne einwirken, so groß sein sollen, daß sie die Grenze der Reißfestigkeit überschreiten.

Daß aber neben degenerativen Veränderungen das Trauma keine untergeordnete Rolle spielen kann, zeigt das seltene Auftreten beidseitiger Achillessehnenrupturen. Bisher ist nur über 7 Fälle berichtet worden.

Das Problem, ob eine übermäßige Beanspruchung der Achillessehne eine " Gelegenheitsursache " oder der alleinige Grund für eine Ruptur ist, wird in der Literatur nicht eindeutig beantwortet. Das scheitert wohl auch daran, daß die Operation meistens erst Tage oder Wochen später durchgeführt wird und dann die histologischen Untersuchungen nicht vorbehaltlos verwertet werden können.

Die Aufgabe dieser Arbeit soll es nun sein, die statische Belastbarkeit der menschlichen Achillessehne am Knochen - Sehnen-Muskelpräparat unter Berücksichtigung des Alters zu prüfen, um festzustellen, wie hoch die mechanischen Kräfte sein müssen, die auf eine gesunde Sehne einwirken, damit es zur Ruptur kommt. Weiterhin soll untersucht werden, in welchem Anteil der Sehne die Reißstelle liegt.

Im Tierversuch haben bereits FINK und WYSS (1942) die Zug- und Ruckfestigkeit am Knochen-Sehnen-Muskelpreparat beim Frosch experimentell untersucht. Sie bedienten sich dabei folgender Methodik:

Der musculus gastrocnemius des Frosches wurde mit Fuß und Sehne herauspräpariert und am entblößten Femur eingespannt. Damit weder Knochen noch Sehne beschädigt werden konnten, wurde das distale Femurende mit Hilfe eines Perlgarfadens, der durch ein Messingrohr gezogen wurde, an einen Eisenstab geschraubt. Die freihängende Sehne wurde unten am Mittelfuß mit Baumwollfäden umwickelt. An einer Fadenschlinge wurde eine horizontal gestellte Platte befestigt, die mit Gewichten belastet werden konnte. Die Versuche wurden an schlaffem und auch kontrahiertem Muskel gemacht. FINK und WYSS konnten feststellen, daß es bei gleichmäßigem und auch ruckartigem Zug immer zur Muskelruptur, nie aber zu Sehnenrissen kam.

Dies Ergebnis kann nun nicht, da es sich im Tierversuch um eine andere funktionelle Beanspruchung handelt, ohne weiteres auf die Verhältnisse beim Menschen übertragen werden.

An der menschlichen Achillessehne machte STUCKE (1950) experimentelle Versuche. Er prüfte im Belastungsversuch die Elastizität der Achillessehne. Die herauspräparierte Sehne wurde am Fersenbeinhöcker belassen, proximal am muskulo-tendinösen Übergang abgetrennt.

Da sämtliche Versuchsanordnungen, die unveränderte Achillessehne in die Haltebacken der Amseln'schen Zerreißmaschine einzuspannen an der übergroßen Schlüpfrigkeit der Sehnen-substanz scheiterten, wurde das Problem dadurch umgangen, daß die Sehne für einige Zeit in 10%-igem Formalin fixiert wurde. Die Sehne wurde dadurch verhärtet, aber auch in ihrer biologischen Eigenart in nicht übersehbarer Weise verändert.

Offensichtlich wegen der störenden Schlüpfrigkeit der Sehne verwarf STUCKE diese Versuchsanordnung und gab stattdessen durch Einschnneiden mit einer Rasierklinge die Rißstelle der Sehne vor. Nur so konnte er eine Sehnenruptur herbeiführen. Die Belastbarkeit der ganzen Sehne wurde aus der Bruchlast der eingekerbten Sehne mittels Umfang- und Querschnittsmessung errechnet.

Es wurde eine mittlere Belastung bei Riß von $4,67 \text{ kg/mm}^2$ ermittelt.

Bei dieser Versuchsanordnung lassen sich lediglich Aussagen über die Belastung machen. Die Frage der Lokalisation der Rißstelle muß jedoch unbeantwortet bleiben.

Auch im Tierversuch (1951) an der Gastrocnemiussehne des narkotisierten Hundes untersuchte STUCKE die maximale Belastbarkeit.

Der Muskel wurde indirekt gereizt. Die Fixierung erfolgte durch einen Kirschnerdraht oberhalb der Kondylen des femur. Dieser wurde mit einem Klapp'schen Extensionsbügel an einem Eisenstab befestigt. Der Kalcaneus wurde ebenso eingespannt, womit Schub- und Scherkräfte, die durch das Verkanten des Knochens auftraten, vermieden werden sollten.

Bei dieser Anordnung kam es bei maximaler Kraftentfaltung des Muskels nie zu Sehnenrupturen. Wenn Schäden auftraten, so nur an den Durchbohrungsstellen am Knochen. In Fortführung dieser Versuche durchtrennte STUCKE stufenweise die Sehne bis zu $4/5$ des Sehnendurchmessers. Erst dann kam es an der vorgesehenen Stelle zu Sehnenrupturen. Bei dieser Versuchsanordnung wird lediglich die Kraft des gereizten Muskels als Zugspannung auf die Sehne wirksam. Da in den extremen Belastungssituationen, in denen die Sehnenrupturen aufzutreten pflegen, mit größter Wahrscheinlichkeit neben der Muskelkraft auch noch andere Kräfte auf die Sehne ein-

wirken, wird man die Versuchsanordnung nach STUCKE nicht als wirklichkeitsgetreue Antwort auf unsere Fragestellung ansehen können. Dies gilt auch für die Lokalisation der Achillessehnenruptur, und wie STUCKE selbst hervorhebt, für die quantitative Berechnung der Gesamtbelastbarkeit der Sehne aus den Ergebnissen des Teildurchmessers. Diese Ergebnisse bedürfen zumindest einer Überprüfung durch Belastungsversuche an der Gesamtsehne.

Die Versuchsanordnung von STUCKE am isolierten menschlichen Sehnenpräparat scheiterten an dem technischen Problem der Schlüpfbarkeit. Die für die Einspannung der Sehne notwendigen Kräfte waren so groß, daß der Gewebesaft völlig ausgepreßt wurde, und weiterhin der Sehnendurchmesser so eingeengt wurde, daß Schub- und Scherkräfte auftraten. Bei Belastung riß die Sehne deshalb stets an der Einspannungsstelle.

Es galt also eine Methode zu entwickeln, die diese Schwierigkeit umgeht und es darüber hinaus erlaubt, Zerreißkräfte wirken zu lassen, die die Muskelzugkraft übertreffen, um die mutmaßlichen Verhältnisse bei Achillessehnenrupturen nachzuahmen.

B. Eigene Methodik

Zur Bestimmung der Zerreißfestigkeit der menschlichen Achillessehne wurde die im Materialprüfungswesen übliche Zerreißmaschine nach LOOS benutzt, die auf einen Meßbereich bis 600 kg eingestellt war.

Das Untersuchungsgut wurde frischen Leichen entnommen, die aus dem Münchner Pathologischen-und Gerichtsmedizinischen Institut stammten. Die Versuche wurden an 47 Präparaten gemacht. Von 10 Leichen wurden die rechte und linke, von 27 Leichen nur die rechte Achillessehne herauspräpariert.

Bei der Entnahme blieb die Krankheitsursache unberücksichtigt. Das Alter lag zwischen dem 8. und 82. Lebensjahr. Da für die Reißfestigkeit der Achillessehne der Querschnitt von Bedeutung ist, wurde bei allen Präparaten vor dem Versuch Breite und Dicke gemessen. Dazu wurden 2 Schublehren verwandt, die 3 cm oberhalb des Kalcaneus dem Sehnengewebe leicht angelegt wurden. Die Länge der muskelfreien Achillessehne wurde ebenfalls bestimmt. Die Versuche wurden bei einer Raumtemperatur von 15° - 20° C gemacht. Bei einer gleichmäßig ansteigenden Zugspannung der Zerreißmaschine wurde die Achillessehne durchschnittlich 5 sec. belastet, bevor es zum Reiß kam.

Die größte Schwierigkeit machte es, versuchstechnisch brauchbare Bedingungen zu schaffen, um Zerreißproben an der sehr schlüpfrigen menschlichen Achillessehne vornehmen zu können.

Im Materialprüfungswesen der Technik kann man die starren Metallstäbe in die Haltebacken der Zerreißmaschine so einspannen, daß sie nicht entgleiten können. Selbst bei homogenen Stäben kommt es jedoch immer an der oberen und unteren Haltevorrichtung bei Zugbelastung zum Reiß. Hierfür sind Schub- und Scherkräfte verantwortlich zu machen, die sich durch die scharfen Kanten der Haltebacken auf den Prüfungsstab übertragen. Die Ergebnisse über die tatsächliche Bruchlast (terminus technicus im Materialprüfungswesen) wären ungenau, Der Techniker umgeht diese Schwierigkeit durch genau bestimmbare Reduzierung des Querschnittes in der Mitte des Stabes. Er gibt also die Bruchstelle vor und kann dann ganz genau mit einer Umrechnungstabelle die Gesamtbruchlast bestimmen.

Auf Grund dieser Tatsache wurde davon abgesehen, Zerreißproben an der isolierten Achillessehne durchzuführen. Es ist technisch schwer möglich, die sehr schlüpfrige und gleitende Sehnensubstanz in die Haltebacken einzuspannen und zu belasten.

Wie oben ausgeführt, würde sich dabei ein Auspressen der Sehnengewebsflüssigkeit und das Auftreten der Schub- und Scherkräfte nicht vermeiden lassen.

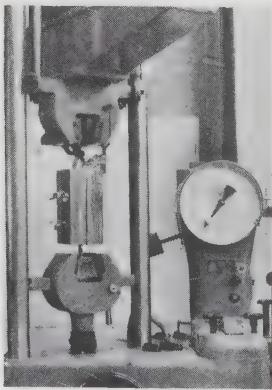
Herauspräpariert wurden vorwiegend bei männlichen Leichen der ganze triceps surae mit Achillessehne und Kalcaneus. Die Versuche wurden also am vollständigen Muskel-Sehnen-Knochensystem durchgeführt. Bei der Entnahme wurde sorgsam darauf geachtet, daß keine Verletzungen an der Sehne auftraten.

Um den Muskel fassen zu können, wurde ein Holzkasten konstruiert, der eine trichterförmige Aushöhlung in Größe des musculus triceps surae besaß. Dieser Kasten war in der Mitte aufklappbar und wurde nach Einlegen des Muskels von 4 Flügelschrauben zusammengehalten. Aus der unteren Öffnung des Trichters hing die Achillessehne mit dem Kalcaneus frei heraus. Mittels eines Bügels, an den ein Metallzapfen geschweißt war, konnte der Kasten in die Haltebacken eingespannt werden. Als Halterung für den Kalcaneus diente ein nach unten offenes Metallkästchen mit sagittalem Einschnitt, der etwa bis zur Mitte reichte. Die Sehne konnte durch diesen Schlitz bequem eingelegt werden, während der Kalcaneus nach oben nicht heraustreten konnte. Das Metallkästchen paßte genau in die untere Haltevorrichtung der Zerreißmaschine. Technisch schien das Problem, das Knochen-Sehnen-Muskelpräparat in die LOOS'sche Maschine einzuspannen, gelöst zu sein.

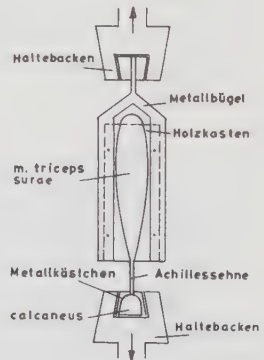
Es zeigte sich jedoch, daß bei einer Belastung von ca. 200 kg in einer Versuchsreihe von 12 Fällen 7-mal die Sehne besenreisartig aus dem Wadenmuskel ausfaserte, in 5 weiteren Versuchen kam es zum Ausriß der Sehne am Kalcaneus, wobei an der Insertionsstelle immer ein kleines Knochenstückchen absplitterte.

Da für die Ausrisse der Sehne am Kalcaneus Scherkräfte in Betracht kamen, wurde, um diese auszuschalten, der Kalcaneus in physiologischer Stellung mit einem schnellhärtenden Gips in dem Metallkästchen eingegipst. Da letztlich die Belastbarkeit der Sehne, nicht aber die des musculo-tendinösen Übergangs geprüft werden sollte, mußte das Ausfasern der Sehne aus dem Wadenmuskel verhindert werden. Da klinisch in seltenen Fällen zwar knöcherne Ausrisse, nie aber ein Ausfasern der Sehne am musculo-tendinösen Übergang beobachtet wird, schien es gerechtfertigt, durch einen künstlichen Eingriff an dieser Stelle diese Schwierigkeit in der Versuchsanordnung zu umgehen. Der Muskel wurde 24 Stunden in ein Standglas mit einer 40%-igen Formalinlösung gehängt, wobei sorgsam darauf geachtet wurde, daß die eigentliche Sehne nicht mit dem Formalin in Berührung kam. Um die Sehne in ihrer biologischen Eigenart möglichst nicht zu verändern, wurde sie mit in physiologischer Kochsalzlösung getränkten Tüchern feucht gehalten.

Das technische Problem war damit gelöst, und die eigentlichen Belastungsversuche konnten somit beginnen.



Zerreißmaschine mit
eingespannter Achillessehne



Querschnittszeichnung
der Haltevorrichtung

C. Ergebnisse

In den 12 Vorversuchen wurde Material von Leichen im Alter von 23 - 73 Jahren verwandt. Da es in 7 Fällen zur Ausfaserung der Sehne aus dem Muskel kam (Tabelle I), in 5 weiteren Fällen die Sehne mit einem Knochensplitter aus dem Kalcaneus ausgerissen wurde (Tabelle II), kann keine Aussage über die Belastbarkeit der Sehne und die Lokalisation der Ruptur gemacht werden. Irgendwelche Veränderungen konnten an der Sehne makroskopisch nicht festgestellt werden.

Wie aus Tabelle I und II ersichtlich ist, unterscheiden sich die Ausrisse oben und unten nicht hinsichtlich der aufgewendeten Zugkräfte.

Warum es bei nicht in physiologischer Stellung belastetem Kalcaneus zum Sehnenriß kam, wird später erörtert.

Tabelle I:

	Bruchlast	Querschnitt in mm ²	Muskelfreie Sehnenlänge
1. 23 J.männl.re.	210 kg	104	4,8 cm
2. 24 J.weibl.re.	182 kg	91	5,0 cm
3. 27 J.weibl.re.	146 kg	90	5,3 cm
4. 53 J.männl.re.	160 kg	90	4,5 cm
5. 62 J.männl.re.	108 kg	58	9,2 cm
6. 72 J.weibl.re.	177 kg	84	7,1 cm
7. 73 J.männl.re.	145 kg	105	4,3 cm

Tabelle II:

	Bruchlast	Querschnitt in mm ²	Muskelfreie Sehnenlänge
1. 23 J.männl.re.	193 kg	120	4,3 cm
2. 23 J.männl.li.	185 kg	120	4,4 cm
3. 29 J.männl.re.	203 kg	84	7,8 cm
4. 47 J.weibl.re.	114 kg	72	6,1 cm
5. 73 J.männl.re.	160 kg	105	5,0 cm

Im eigentlichen Hauptversuch wurden Zerreißproben der Achillessehne bei in Formalin fixiertem musculus triceps surae und in physiologischer Stellung eingegipstem Kalcaneus gemacht.

Zur Verfügung stand frisches Material von Leichen, deren Alter zwischen 8 und 82 Jahren lagen.

Die Ergebnisse der Belastungsversuche zeigt Tabelle III.

Tabelle III:

		Bruch- last	Quer- schnitt	Belastbar- keit in kg/mm ²	Sehnenlänge: Rupturstelle- Kalcaneus	Gesamt- sehnenlänge
1.	8 J.männl.re.	232 kg	72,6 mm ²	3,2	1,5 cm	3,3 cm
2.	15 J.männl.re.	360 kg	78,0 "	4,6	2,9 cm	5,4 cm
3.	19 J.männl.re.	365 kg	72,0 "	5,0	3,1 cm	7,1 cm
4.	20 J.männl.re.	370 kg	80,0 "	4,6	3,0 cm	5,8 cm
5.	25 J.männl.re.	393 kg	78,5 "	5,0	2,7 cm	5,2 cm
6.	24 J.weibl.re.	380 kg	72,0 "	5,3	3,0 cm	6,5 cm
7.	24 J.männl.re.	391 kg	90,0 "	4,3	2,5 cm	4,9 cm
8.	24 J.männl.li.	385 kg	90,0 "	4,3	2,1 cm	4,8 cm
9.	27 J.männl.re.	408 kg	84,0 "	4,9	3,3 cm	5,6 cm
10.	32 J.männl.re.	410 kg	112,0 "	3,7	2,4 cm	4,3 cm
11.	32 J.männl.li.	397 kg	112,0 "	3,6	3,4 cm	6,5 cm
12.	36 J.weibl.re.	462 kg	84,5 "	4,3	3,3 cm	6,0 cm
13.	36 J.weibl.li.	408 kg	84,5 "	4,8	3,0 cm	6,1 cm
14.	37 J.männl.re.	420 kg	112,0 "	3,8	3,0 cm	4,9 cm
15.	37 J.männl.re.	210 kg	120,0 "	-	-	5,7 cm
16.	40 J.männl.re.	357 kg	78,5 "	4,5	4,3 cm	9,0 cm
17.	42 J.männl.re.	348 kg	90,0 "	3,9	3,6 cm	5,8 cm
18.	45 J.männl.re.	398 kg	80,0 "	5,0	3,1 cm	5,7 cm
19.	45 J.männl.li.	370 kg	80,0 "	4,6	3,0 cm	5,7 cm
20.	46 J.weibl.re.	386 kg	84,0 "	4,6	3,5 cm	6,5 cm
21.	46 J.weibl.li.	360 kg	84,0 "	4,3	3,7 cm	6,5 cm
22.	52 J.männl.re.	367 kg	90,0 "	4,1	2,3 cm	4,3 cm
23.	62 J.männl.re.	330 kg	70,0 "	4,7	3,3 cm	5,7 cm
24.	65 J.weibl.re.	225 kg	119,0 "	-	-	6,2 cm
25.	72 J.männl.re.	395 kg	126,0 "	3,4	3,3 cm	6,0 cm
26.	73 J.männl.re.	320 kg	78,0 "	4,1	2,9 cm	4,9 cm
27.	73 J.männl.li.	318 kg	78,0 "	4,0	2,8 cm	4,8 cm
28.	75 J.männl.re.	325 kg	77,0 "	4,3	3,0 cm	5,5 cm
29.	75 J.männl.li.	317 kg	75,0 "	4,2	3,2 cm	5,5 cm
30.	78 J.männl.re.	306 kg	84,0 "	3,6	3,1 cm	7,5 cm
31.	78 J.männl.li.	311 kg	84,0 "	3,7	3,0 cm	5,3 cm
32.	78 J.weibl.re.	290 kg	84,5 "	3,4	2,5 cm	4,6 cm
33.	81 J.männl.re.	301 kg	72,0 "	4,2	2,2 cm	4,1 cm
34.	81 J.männl.li.	295 kg	72,0 "	4,1	4,3 cm	7,7 cm
35.	82 J.männl.re.	310 kg	78,0 "	4,0	3,0 cm	8,6 cm

Versuch Nr. 15 und 24 blieben bei der Auswertung unberücksichtigt, da es in beiden Fällen trotz Fixierung nicht zum Sehnenriß, sondern zur Ausfaserung der Sehne am muskulo-tendinösen Übergang kam.

Wie die nachträgliche Untersuchung des Muskels ergab, war in beiden Fällen die Formalinfixierung infolge des starken Muskeldurchmessers unvollständig geblieben.

Aus Tabelle III ist ersichtlich, daß in sämtlichen 33 Fällen bei einem Durchschnittsalter von 47,9 Jahren die mittlere Bruchlast bei 361,2 kg liegt. Weiterhin ergibt sich eine mittlere Beanspruchung bei Riß von $4,3 \text{ kg/mm}^2$. Um die Belastbarkeit hinsichtlich des Alters deutlich zumachen, werden in Tabelle IV die Alter von 8- 82 Jahren in Dekaden aufgeteilt.

Tabelle IV:

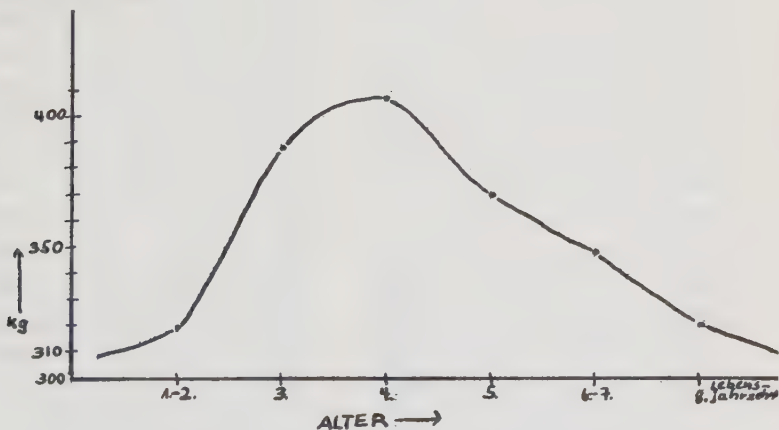
	Bruchlast	Belastbarkeit in kg/mm^2	Fälle	beiderseitige Belastung
+)				
1. 8-19 J.	319 kg	4,26	3	1
2. 20-29 J.	388 kg	4,72	6	1
3. 30-39 J.	407 kg	4,05	5	2
4. 40-49 J.	370 kg	4,58	6	2
5. 50-69 J.	349 kg	4,40	2	2
6. 70-82 J.	322 kg	3,91	11	4

+) Die unteren und oberen Lebensalter wurden wegen der geringen Anzahl der zur Verfügung stehenden Leichen zusammengefaßt-.

Wie Schaubild I zeigt, ergibt die absolute Belastbarkeit der menschlichen Sehne eine bogenförmige Kurve mit einem Maximum im 4. Lebensjahrzehnt.

Bei 9 Leichen wurden die Belastungsversuche an der rechten und linken Achillessehne gemacht. (In 7 Fällen war die Belastbarkeit der rechten Achillessehne etwas größer).

Schaubild I:



Aus Tabelle III, die nach dem Alter geordnet ist, kann eine Abhängigkeit des Sehnendurchmessers vom Alter nicht herausgelesen werden.

Da man sich vorstellen könnte, daß eine bestimmte Sehnendicke eine optimale Belastbarkeit ergibt, wird in Tabelle V die Belastbarkeit pro mm^2 mit dem Gesamtquerschnitt verglichen. Dabei werden den steigenden Querschnittbelastbarkeiten die entsprechenden Sehnenquerschnitte zugeordnet.

Tabelle V:

Belastbarkeit in kg/mm ²		Sehnen- querschnitt	Belastbarkeit in kg/mm ²		Sehnen- querschnitt
1.	3,2	72,6 mm ²	18.	4,3	84,0 mm ²
2.	3,4	84,5 "	19.	4,3	84,5 "
3.	3,4	126,0 "	20.	4,3	90,0 "
4.	3,6	84,0 "	21.	4,3	90,0 "
5.	3,6	112,0 "	22.	4,5	78,5 "
6.	3,7	120,0 "	23.	4,6	80,0 "
7.	3,7	84,0 "	24.	4,6	84,0 "
8.	3,8	112,0 "	25.	4,6	80,0 "
9.	3,9	90,0 "	26.	4,6	78,0 "
10.	4,0	78,0 "	27.	4,7	70,0 "
11.	4,0	78,0 "	28.	4,8	84,5 "
12.	4,1	72,0 "	29.	4,9	84,0 "
13.	4,1	78,0 "	30.	5,0	80,0 "
14.	4,1	90,0 "	31.	5,0	78,5 "
15.	4,2	75,0 "	32.	5,0	72,0 "
16.	4,2	72,0 "	33.	5,3	72,0 "
17.	4,3	77,0 "			

Die Tabelle V zeigt, daß keine signifikante Relation besteht.

Um eine denkbare Abhängigkeit zwischen Sehnenlänge und Reißfestigkeit zu ermitteln, wird die Sehnenlänge den Belastungen gegenübergestellt.

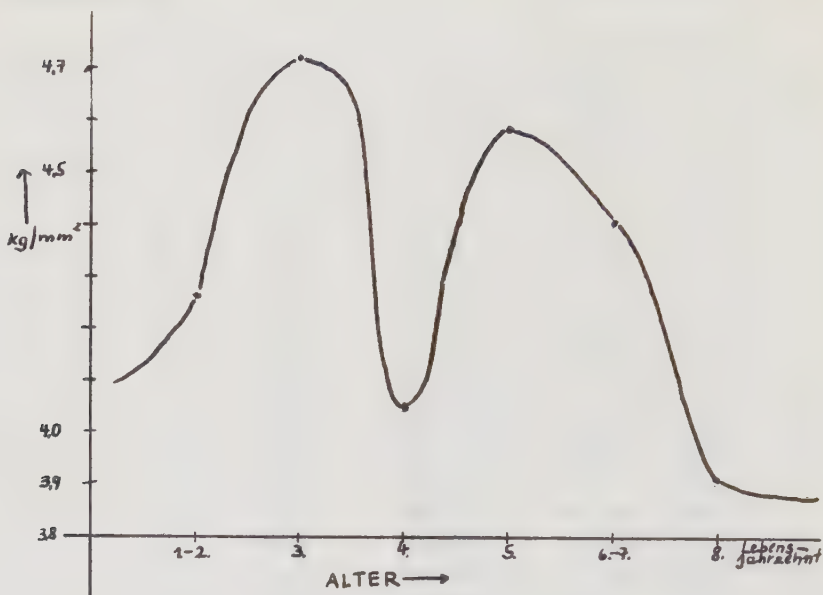
Tabelle VI:

-----		-----	
Sehnen- länge	Bruchlast	Sehnen- länge	Bruchlast
=====			
1. 9 cm	357 kg	18. 5,6 cm	408 kg
2. 8,6 cm	310 kg	19. 5,5 cm	317 kg
3. 7,7 cm	295 kg	20. 5,5 cm	325 kg
4. 7,5 cm	306 kg	21. 5,4 cm	360 kg
5. 7,1 cm	365 kg	22. 5,2 cm	311 kg
6. 6,5 cm	360 kg	23. 5,2 cm	393 kg
7. 6,5 cm	386 kg	24. 4,9 cm	391 kg
8. 6,5 cm	397 kg	25. 4,9 cm	420 kg
9. 6,5 cm	380 kg	26. 4,9 cm	320 kg
10. 6,1 cm	408 kg	27. 4,8 cm	318 kg
11. 6,0 cm	395 kg	28. 4,8 cm	408 kg
12. 6,0 cm	462 kg	29. 4,6 cm	290 kg
13. 5,8 cm	348 kg	30. 4,3 cm	410 kg
14. 5,8 cm	370 kg	31. 4,3 cm	307 kg
15. 5,7 cm	330 kg	32. 4,1 cm	301 kg
16. 5,7 cm	398 kg	33. 3,3 cm	232 kg
17. 5,7 cm	370 kg		

Aus Tabelle VI ist keine Abhängigkeit ersichtlich.

Da aber der Vergleich zwischen Alter und Belastbarkeit eine gewisse Gesetzmäßigkeit zu ergeben scheint, könnte es von Interesse sein, die Belastbarkeit pro mm^2 mit dem Lebensalter zu vergleichen (siehe Tabelle IV und Schaubild II).

Schaubild II:

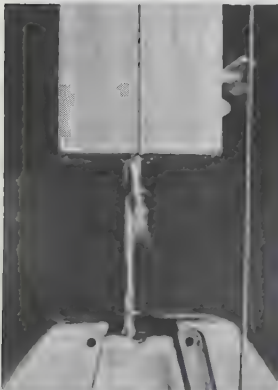


Die höchste Belastbarkeit liegt im 3. Lebensjahrzehnt bei $4,7 \text{ kg/mm}^2$, wobei eine Abweichung des Kurvenbildes im 4. Lebensjahrzehnt auffällt.

Bei einer mittleren Länge der muskelfreien Achillessehne von 5,8 cm zerriß die Sehne im Belastungsversuch im Durchschnitt 3,0 cm oberhalb des Kalcaneus.

Bei 30% aller 33 Fälle liegt die Rißstelle in der Sehnenmitte ($\pm 3 \text{ mm}$), bei 55% oberhalb und bei 15% unterhalb der Sehnenmitte.

Hieraus ist ersichtlich, daß die Rupturstelle ausschließlich im mittleren Drittel der Sehne liegt. Die Reißstelle war niemals glatt, sondern immer aufgefasert.



ZerreiBmodus der Achillessehne in verschiedenen Belastungsphasen.

D. Diskussion:

Aus der weitgehenden Übereinstimmung zwischen dem klinischen Bild der Achillessehnenruptur und Befunden des Hauptversuches kann man schließen, daß die angewandte Versuchsanordnung der Arbeit Achillessehnenrupturen experimentell herbeizuführen, den wirklichen Gegebenheiten sehr nahe kommt.

Nach Überwindung der technisch störenden Schlüpfrigkeit der Sehne, war es nur dann möglich die menschliche Sehne zu zerreißen, wenn Kräfte auf sie einwirken, die die maximale Muskelkraft des musculus triceps surae übertrafen.

Dies gilt auch für die Versuchsperson Nr.1 (Bruchlast 290 kg); denn bei einem 8-jährigen Kind erreicht die Muskelkraft nicht die für den Erwachsenen geltenden Wert von 270 kg.

Die mittlere Bruchlast von 361 kg, aber auch die maximale Belastung von 420 kg kommen den Ergebnissen STUCKE's, der mit der unphysiologischen Einschneidemethode arbeitete, erstaunlich nahe. Man wird darum einerseits die Belastungsfähigkeit der Achillessehne bis zu ca. 400 kg als gesichert und weiterhin die Einschneidemethode auch im biologischen Bereich als brauchbar ansehen dürfen. Der Vorversuch unterschied sich unter anderem vom Hauptversuch dadurch, daß der Kalcaneus in nicht physiologischer Stellung eingegipst wurde, so daß Scherkräfte an der Insertionsstelle wirksam werden konnten.

In den seltenen klinischen Fällen von Sehnenaustrissen mit Knochensplitterchen am Kalcaneus, wird man ebenfalls Scherkräfte dafür verantwortlich machen müssen.

Es liegt nahe, eine Beziehung zwischen Achillessehnenbelastbarkeit und Lebensalter anzunehmen. Schaubild I zeigt einen ähnlichen Kurvenverlauf wie bei STUCKE.

Allerdings liegt das Maximum bei STUCKE im 3. Lebensjahrzehnt. Die geringe Anzahl der Versuche beider Versuchsreihen ergeben keine endgültige statistische Gesetzmäßigkeit.

Dieser experimentell gefundenen größten Belastbarkeit im 3. Lebensjahrzehnt widersprechen die klinischen Befunde, nach denen die häufigsten Achillessehnenrupturen gerade in diesem Lebensabschnitt auftreten.

Wenn man davon ausgeht, daß schon die maximale Muskelkraft zur Achillessehnenruptur ausreicht, muß man die Ursache des Risses in vorwiegend degenerativen Sehnenveränderungen suchen. Die spärlichen histologischen Untersuchungen am operativen Excisionsmaterial scheinen aber eine derartige Annahme nicht eindeutig belegen zu können. Bei dem häufig relativ langen Zeitraum zwischen Unfall und Operation bleibt fraglich, ob die gefundenen Degenerationen nicht posttraumatisch aufgetreten sind.

Da aber nach den obigen experimentellen Ergebnissen ohnehin über die Muskelkraft hinausgehende Kräfte (Flieh- oder Zugkräfte) notwendig sind, um eine Achillessehnenruptur herbeizuführen, wird man eher in diesen Außenkräften die Ursache für das gehäufte Auftreten der Achillessehnenruptur im 3. Lebensjahrzehnt suchen müssen. Hierbei ist in erster Linie an eine Selbstüberforderung bei Nachlassen der Reaktionsschnelligkeit zu denken.

Die sich aus dieser Überlegung ableitende Bedeutung der Außenkräfte muß bei der fraglichen Anerkennung einer Achillessehnenruptur durch einen Unfall (gemäß der versicherungsrechtlichen Definition: durch ein plötzlich von außen kommendes unvorhergesehenes Ereignis) Berücksichtigung finden. Bei der Klärung im Einzelfall wird man in erster Linie Unfallhergang und weiterhin mit der gebotenen Vorsicht das histologische Bild heranziehen müssen.

Die ausschließliche Lokalisation der Achillessehnenruptur, die unabhängig von der Gesamtsehnenlänge ist, liegt im mittleren Drittel der Sehne. Man könnte für die Lokalisation der Ruptur in der Sehnenmitte gerade bei einem mechanisch so beanspruchten Material rein mechanische Momente für verantwortlich erklären. In eingehenden Untersuchungen hat aber SCHNORRENBURG nachgewiesen, daß die Sehnenmitte der am schlechtesten durchblutete Teil der Sehne ist. Die Sehnenmitte stellt somit physiologisch einen locus minoris resistentiae dar und ist dadurch die Praedilektionsstelle für degenerative Veränderungen. Deshalb wird man bei einem atypischen Sehnenriß außerhalb der Sehnenmitte die Frage endogener praetraumatischer degenerativer Veränderungen genau prüfen müssen. Bei typischem Sehnenriß im mittleren Drittel sind keine Rückschlüsse auf endogenen oder exogenen Anteil am Zustandekommen statthaft.

Ausgehend von der Überlegung, daß sich eventuelle Durchblutungsstörungen bei stärkerem Sehnendurchmesser auf die Belastbarkeit besonders auswirken und diese herabsetzen, wird in Tabelle V die Querschnittsbelastbarkeit zum Gesamtquerschnitt in Beziehung gesetzt. Hier kann keine Relation aufgezeigt werden. Die Querschnittsbelastbarkeit ist unabhängig von der Sehnendicke.

Dagegen zeigt sich eine Altersabhängigkeit zur Querschnittsbelastbarkeit (Tabelle IV). Die sich ergebende Kurve zeigt eine bemerkenswerte Ähnlichkeit mit der absoluten Belastbarkeit. Das Maximum liegt bei STUCKE im 3. Lebensjahrzehnt. Lediglich im Bereich des Alters von 40 - 50 Jahren tritt eine Kurvenzacke auf, die den sonstigen Verlauf unterbricht. Eine Erklärung kann darin gesehen werden, daß in dieser Altersgruppe das Untersuchungsmaterial nur von 3 Leichen stammte, da von 2 Leichen die rechten und linken Achilles-

sehnen entnommen wurden.

Weiterhin wird durch Vergleiche der Sehnenlängen und -durchmesser festgestellt, daß diese vom Alter unabhängig sind. Hier sind konstitutionelle Momente vorherrschend. Ein negatives Ergebnis bringt die vergleichende Zusammenstellung von absoluter Belastbarkeit und Sehnenlänge. Die Reißfestigkeit der Sehne ist unabhängig von Länge und Querschnitt.

Zusammenfassung

- I. Es wurde eine neue Methodik entwickelt, um am Knochen-Sehnen-Muskelpreparat in möglichst physiologischer Weise die Reißfestigkeit der menschlichen Achillessehne zu prüfen. Die bisherigen Versuche scheiterten an der Schlüpfbarkeit des Sehnenmaterials. Dieses technische Problem wurde durch Einspannen des fixierten Muskels in einen Trichter und Eingipsen des Calcaneus in physiologischer Stellung gelöst.
- II. Nach 12 Vorversuchen wurde an 33 (35) menschlichen Leichensehnen eine mittlere Belastbarkeit von 361 kg festgestellt.
- III. Die sogenannte Bruchlast der Sehne liegt über der maximalen Muskelkraft des musc. triceps surae. Nach Angaben von FICK beträgt die maximale Zugspannung der Wadenmuskulatur 270 kg.
- IV. Die Belastbarkeit der Sehne ist vom Alter, nicht dagegen vom Umfang und von der Länge abhängig.

Schrifttum

- BENYI, P.: Wiederherstellung veralteter Achilles-
sehnenrisse mit transplantierten Ganz-
hautlappen.
Acta chir.Acad.Sci.hung.Bd.2 (1961).
- CHIGOT, P. : Contribution à l'étude anatomo-patho-
logique et au traitement chirurgical
des ruptures sous-entées du tendon
d'Achille Rev.chir.orthop.Bd.38, S.513
(1952).
- PICK, R. : Handbuch der Anatomie u. Mechanik der
Gelenke, G. Fischer, Jena 1911.
- FINK, R. u. WYSS, O.: Experim.Unters. über Ruptur am Knochen-
Sehnen-Muskelsystem beim Frosch.
Monatsschrift für Unfallkunde und
Versicherungsmed.49.Jg., S 379 (1942).
- FRINGS, H. : Über 88 subcutane Achillessehnen-
rupturen beim Sport.
Monatszeitschrift für Unfallkunde u.
Versicherungsmed.64.Jg., Heft 9,
S. 325 (1961).
- JENNY, F. : Unfallmed. Bemerkungen zum subc.Achilles-
sehnenriß.
Praxis (Bern) 37.Jg., S. 141 (1948).
- QUENU, J. u.
STOIANOVITCH, S. : Les ruptures du tendon d'Achilles.
Rev.chir., 67.Band (1929).
- SCHNORRENBERG, G. : Über die Gefäßversorgung der Achilles-
sehne.
Morph.Jahrbuch, Bd. 103, Heft 3, S. 428
(1962).

SCHÖNBAUER, H.R. : Subcutane Achillessehnenrisse,
Chir.Praxis, S. 77 (1960).

STUCKE, K. : Über das elastische Verhalten der
Achillessehne im Belastungsversuch.
Langenbecks Archiv u. Dtsch.Z.Chir.
Bd. 265, S 579 (1950).

Sehnenbelastung und - ruptur im
Tierversuch.
Chir.Hg. 22, S. 16 (1951).

VIERNSTEIN, K. u.
GALLI, H. :

Achillessehnenrupturen.
Wiederherstellungschirurgie und
Traumatologie. B.8, 5-1 (1964).

Lebenslauf

Am 4. 7. 1936 wurde ich als viertes Kind des damaligen Gerichtsarztes Dr. med. Wilhelm Wille und seiner Ehefrau Elisabeth, geb. Tereskiewicz, in Stettin geboren. Ab Ostern 1942 besuchte ich in Stettin und anschließend in Bargtheide/Holstein die Volksschule. Von 1948 bis 1953 besuchte ich das Humanistische Wilhelm - Gymnasium in Hamburg, danach die Wissenschaftliche Oberschule in Ahrensburg/Holstein. Am 28. 2. 1957 bestand ich dort mein Abitur und begann alsdann in München das Medizinstudium. Nach 2 Semestern wechselte ich nach Hamburg über und bestand am 31. 10. 1960 die ärztliche Vorprüfung. Die beiden ersten klinischen Semester absolvierte ich in Hamburg. Das Wintersemester 1961/62 studierte ich in München, ging dann für das Sommersemester 1962 nach Erlangen und studierte die beiden letzten Semester wieder in München. Im Februar 1964 bestand ich das med. Staatsexamen mit der Note "Gut".

Vom 1. 3. bis 31. 4. 1964 war ich als Medizinalassistent in der Orthopädischen Klinik (Direktor: Prof. Dr. Max Lange) in München tätig, wo ich meine dort begonnene Dissertationsarbeit bei Herrn Dr. med. habil. E. Hipp fortsetzte. Anschließend ging ich an das Kreiskrankenhaus Stormarn in Bad Oldesloe auf die Geburtsh.-gynäkologische Abteilung (Leitender Arzt: Doz. Dr. med. habil. J. Erbslöhn) und wechselte nach 4 Monaten auf die Innere Abteilung (Chefarzt: Prof. Dr. med. W. Hangarter), wo ich bis zum Ende April 1965 arbeitete. Seit 1. Mai 1965 bin ich auf der Chirurg. Abteilung des Kreiskrankenhauses Bad Oldesloe (Leitender Arzt: Doz. Dr. R. von Ondarza) tätig, wo ich zur Zeit noch tätig bin.

Am 11. 9. 1964 habe ich geheiratet. Mein späteres Berufsziel ist die Übernahme der Landpraxis meines Vaters in Bargtheide/Holstein.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Dr.med. habil E. H i p p für die Überlassung des Themas der Doktorarbeit sowie die damit verbundenen Mühen aufrichtig danken.

Das Achillessehnenmaterial wurde mir freundlicherweise vom Münchener Pathologischen Institut (Direktor: Prof.Dr. B ü n g e l e r) und Gerichtsmedizinischen Institut (Direktor: Prof.Dr. L a v e s) überlassen.

Mein Dank gilt auch Herrn Prof.Dr. R ü s c h , dem Direktor des Institutes für Materialprüfung an der Techn.Hochschule München, der mir die Einrichtungen seines Institutes zur Verfügung stellte sowie Herrn Dipl.Ing. H i r l , der mich bei den auftretenden technisch-physikalischen Fragestellungen laufend betriet.

